



Universidad de Oviedo



Facultad de Geología

TRABAJO FIN DE GRADO

**ESTRUCTURAS TECTÓNICAS EN EL
FRENTE MERIDIONAL DE LA
CORDILLERA CANTÁBRICA ENTRE LOS
RÍOS CURUEÑO Y PORMA.**

PELAYO FEITO FERNÁNDEZ

GRADO EN GEOLOGÍA
JUNIO - 2022



Estructuras tectónicas en el frente meridional de la Cordillera Cantábrica entre los ríos Curueño y Porma.

Pelayo Feito Fernández

Resumen: Se ha estudiado el área comprendida entre los ríos Curueño y Porma, en la vertiente meridional de la Cordillera Cantábrica, con el fin de describir las estructuras tectónicas asociadas al frente alpino de la cordillera. El trabajo incluye la recogida de datos estructurales y el levantamiento de una cartografía geológica de detalle en una sección relativamente bien expuesta que permita una interpretación de los procesos que se han ocupado del desarrollo de las estructuras tectónicas y el levantamiento de la cadena montañosa.

Abstract: The area between the Curueño and Porma rivers, on the southern slope of the Cantabrian Mountains, has been studied in order to describe the tectonic structures associated with the alpine front of the mountain range. The work includes the collection of structural data and the creation of a detailed geological map in a relatively well exposed section that allows an interpretation of the processes involved in the development of the tectonic structures present and the rise of the mountain belt.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La cadena montañosa que forma la Cordillera Cantábrica ha sido producida por la convergencia entre Europa y África, entre finales del Cretácico e inicios del Cenozoico, cuando el límite activo entre placas se encontraba en el borde septentrional de la placa ibérica Teixell et al. (2018). La cadena alpina asociada a esta convergencia se extiende a lo largo del norte de la península ibérica entre Galicia y los Pirineos, constituyendo la extensión hacia el Oeste de estos últimos Alonso et al. (2007).

Los movimientos nombrados anteriormente entre placas, siendo la placa Africana la que se desplaza hacia el norte y provoca un empuje de la placa Ibérica contra la placa Europea, constituyendo el límite de placas convergente que da lugar a la orogenia alpina. Dicha orogenia comenzó a partir del Cretácico Tardío, etapa en la que los esfuerzos compresivos producto del movimiento de las placas produjeron el levantamiento que acabaría generando la cordillera Cantábrica en el cuadrante noroeste de la península ibérica.

La intención de este trabajo se centra en la toma de datos estructurales nuevos en las estructuras asociadas al frente meridional de la cordillera, que complementen los ya existentes, y la posterior interpretación de estos con el fin de entender la evolución sufrida en la zona. El trabajo de campo se ha centrado en los materiales cretácicos y cenozoicos en los alrededores de Boñar, que solo registran la deformación alpina. Además de estas observaciones se ha realizado una cartografía geológica de la zona que es complementaria a la ya existente aportando datos nuevos de estructuras.

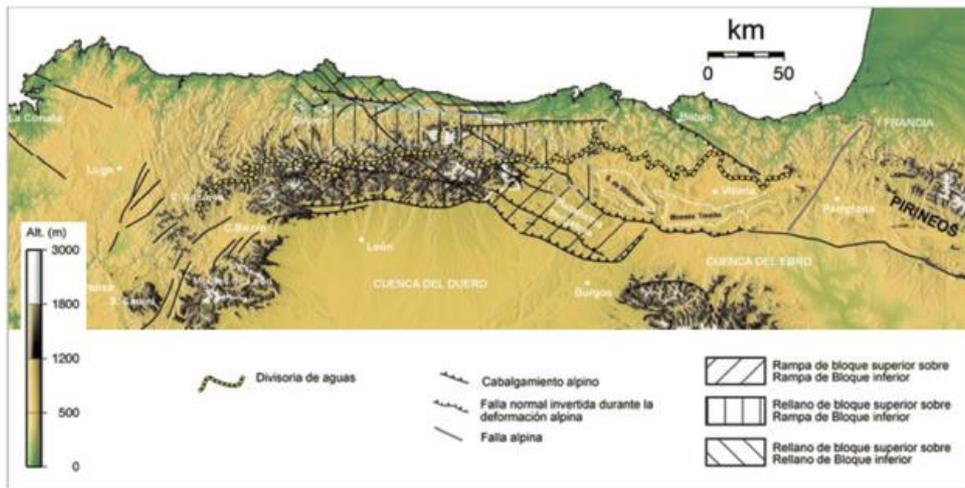


FIGURA 1. Modelo digital de elevaciones mostrando la interpretación estructural del relieve cantábrico. Tomada de Alonso et al. (2007).

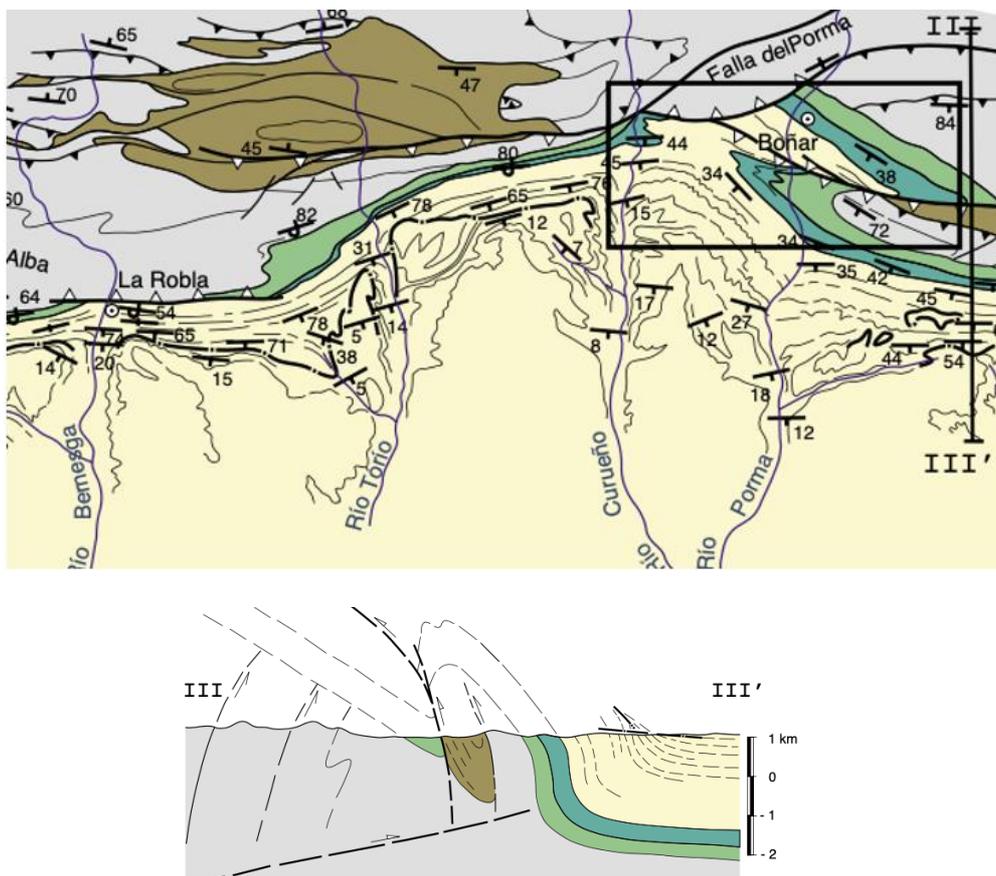


FIGURA 2. Mapa geológico del borde norte de la cuenca del Duero y corte transversal cercano al área de estudio, marcada con un recuadro en la imagen. Tomado de Pulgar et al. (1999).

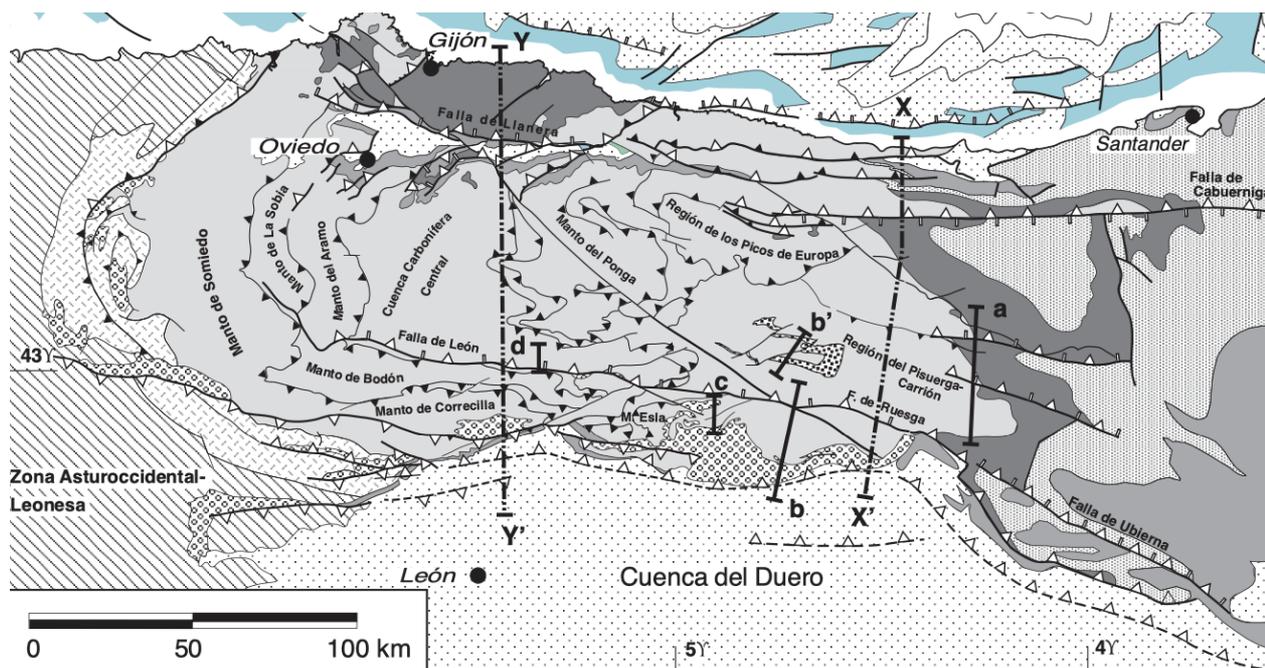


FIGURA 3. Mapa geológico del sector central de la Cordillera Cantábrica. Además de los cabalgamientos alpinos (triángulos blancos), se indican estructuras previas como los principales cabalgamientos variscos (triángulos negros) y las fallas mesozoicas extensionales. Tomado de Pulgar et al. (1999).

CONTEXTO GEOLÓGICO

Estratigrafía

El trabajo de campo se ha restringido a las formaciones litoestratigráficas reconocidas en la literatura como cretácicas y cenozoicas, no diferenciando las unidades cartográficas dentro del basamento paleozoico que registran una historia tectónica mucho más compleja. Por este motivo, a continuación, se describen las formaciones sobre las que se ha trabajado

Al Norte de la cuenca del Duero, al pie de la Cordillera Cantábrica, podemos encontrar una banda con orientación Este-Oeste en la que encontramos afloramientos de edad cretácica, afloramientos en los que nos vamos a centrar. En la zona de estudio, Evers (1967) distinguió dos formaciones estratigráficas: La Formación Voznuevo Evers (1967) en la que vamos a encontrar en su mayoría areniscas y conglomerados de edad Cenomaniense-Turonianse; y La Formación Boñar Evers (1967) la cual fue dividida en cuatro miembros Gómez-Fernández et al, (2003) (Figura 4). Estos miembros han sido agrupados en dos, diferenciando Formación Boñar superior, de edad Campaniense-Santonianse Merino-Tórme et al, (2014), y Formación Boñar inferior que presentan una edad Santonianse-Cenomaniense Merino-Tórme et al, (2014). El primero de los miembros está formado por *grainstones* bioclásticos. El segundo miembro está formado por areniscas en la parte superior mientras que en la inferior aparecen margas sin consolidar y arcillas. En el tercer miembro encontramos alternancias de margas, calizas y calcarenitas. Finalmente, el cuarto miembro está constituido en su mayoría por dolomías.

Sobre las formaciones cretácicas, aparecen materiales más jóvenes destacando dos tipos de unidades. Unos materiales más modernos, siendo estos conglomerados poligénicos, de edad Aragoniense Merino-Tórme et al, (2014), que encontramos en la parte más al Sur de la zona de trabajo y unos tramos de conglomerados con areniscas y arcillas rojas, de edad Oligoceno Merino-Tórme et al, (2014), los cuales se van a distribuir desde el pueblo de La Vecilla con la Mata de la Riba, llegando a extenderse hasta pasar la población de Boñar.

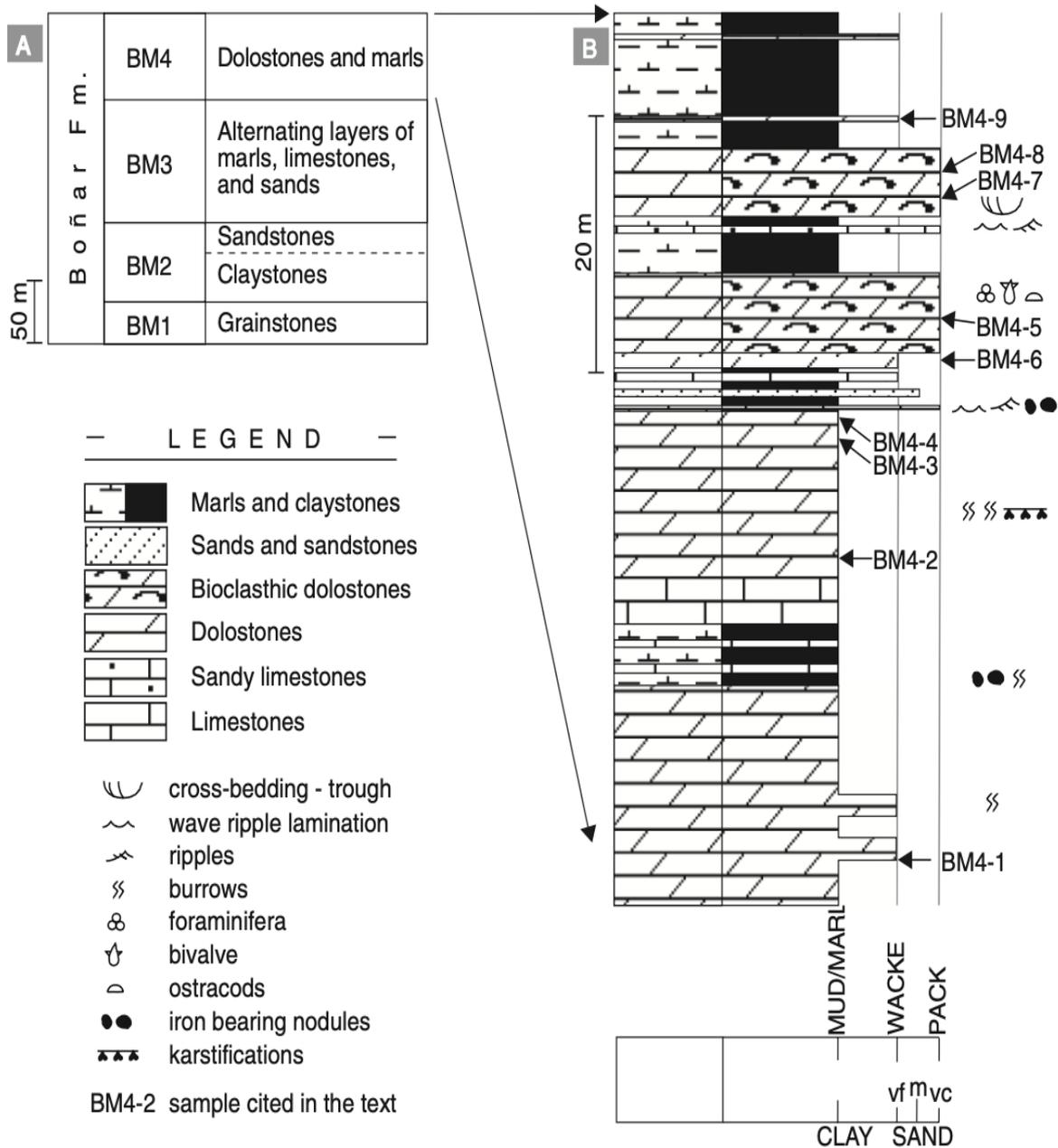


FIGURA 4. Subdivisión estratigráfica en miembros de la Formación Boñar Gómez-Fernández et al. (2003).

Evolución tectónica reciente

La formación de la Cordillera Cantábrica, como se dijo anteriormente, fue producto de los esfuerzos compresivos que empezaron a producirse a finales del Cretácico, y que dieron como resultado el levantamiento de la cordillera durante el Cenozoico. Este gran levantamiento que generó la cordillera y sus estructuras fue explicado gracias a la presencia de un cabalgamiento despegado en la corteza, y gracias al cual se produjo una gran flexión monoclinal en el bloque superior Alonso et al. (1996). Cabe resaltar que la compresión fruto de la cual se generó el levantamiento no fue producida a la vez en toda la extensión del límite septentrional de la placa ibérica, ya que mientras que en el dominio central de la cordillera no se muestran rastros de compresión hasta finales del Eoceno Álvarez-Marrón et al. (1997), si se han encontrado pruebas de una compresión más antigua, finales del Cretácico, en la zona de los Pirineos Vergés et al. (1995).

La orogenia alpina es el evento tectónico más reciente en esta zona de estudio, pero es importante recordar que no es el único que se ha producido, siendo el primer gran evento reconocible en los materiales de la cordillera la orogenia varisca, producida durante el Carbonífero, y que fue generada por la colisión de Gondwana y Laurentia produciendo esfuerzos compresivos Este-Oeste Matte (1991). Posterior a la orogenia varisca, durante el Pérmico y parte del Triásico, esta presente una tectónica distensiva, dicha tectónica distensiva continuo a lo largo del Jurásico, etapa en la que se produjo la apertura del océano atlántico producto de la divergencia entre las masas continentales de América y Europa Vegas y Banda (1982).

METODOLOGÍA

El aspecto metodológico principal reside en la adquisición de datos estructurales en el campo y en el tratamiento de los datos en el gabinete. En una primera parte, el trabajo de campo incorpora el uso de herramientas digitales para la adquisición de datos estructurales en el área de estudio, que se añade y complementa con los métodos tradicionales. La segunda parte del trabajo se centrará en el diseño final de un mapa cartográfico y de diferentes cortes que permitan ver con claridad las estructuras con sus consiguientes proyecciones estereográficas. Ambos datos útiles para entender la evolución tectónica sufrida en la zona.

Planificación del trabajo de campo

Antes de ir a la zona de estudio es necesario realizar una estructuración de los diferentes días que se van a pasar en el campo. Mediante las imágenes del GEODE se harán una primera visión para delimitar áreas de posible interés, a las cuales sería necesario visitar. Aparte del GEODE, la aplicación del *Google Earth* nos facilita una visión más cercana y la posibilidad de agilizar la búsqueda de afloramientos que visitar. Gracias este trabajo previo se seleccionaron 3 localizaciones de interés, que van a ser estudiadas a lo largo de 6 días de campo. En la figura 5 es posible ver las zonas numeradas.



FIGURA 5. Localizaciones de interés numeradas.

Adquisición de datos

Una vez realizados los trabajos de preparación para el campo nos desplazaremos a las zonas marcadas. En el campo se utilizaron tanto herramientas clásicas como puede ser el martillo, lupa y brújula, como herramientas electrónicas como en mi caso una Tablet que dispondrá de GPS, la cual será de gran ayuda en las tareas de dibujo para posibles contactos geológicos y esbozos realizados en el campo, puesto que previamente se habían cargado las ortoimágenes de detalle de las zonas seleccionadas.

En las diferentes áreas no solo tomaremos medidas de dirección y buzamiento de estratificación, sino que trataremos de buscar estructuras como diaclasas y fallas menores asociadas a otras de mayor tamaño, cualquier elemento que sea capaz de darnos información de la historia tectónica más reciente del área. Las mediciones no solo serán tomadas con la aplicación *clino Fieldmove* Allmendinger et al. (2017), ya que es de gran ayuda y nos permite georreferenciar de forma suficientemente precisa el punto en el que realizamos las mediciones; comparable al margen de error que existe al georreferenciarlos manualmente en un mapa

impreso. No obstante, las mediciones digitales se comprueban regularmente con el uso de una brújula tal y como se puede ver en la figura 6. También es importante comprobar nuestra situación mediante mapas que llevemos con nosotros, para prevenir un posible fallo de localización con la Tablet.

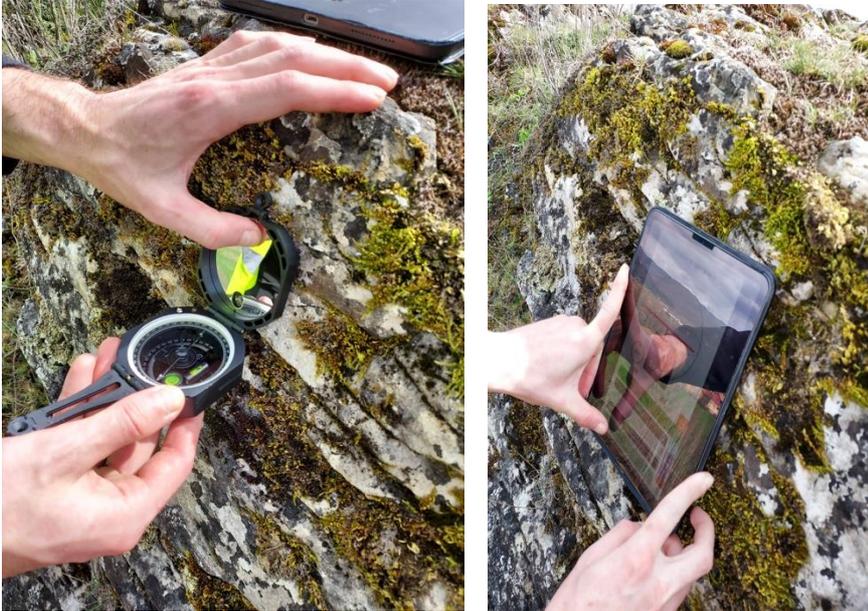


FIGURA 6. Ejemplos de mediciones tomadas.

De esta forma recorreremos el terreno marcando los cambios litológicos del área para ir trazando una cartografía base y tomando las diferentes mediciones, que posteriormente agruparemos en el gabinete en una tabla donde además de las mediciones de dirección y buzamiento de estratificación de las capas situamos los datos de las diaclasas encontradas y otras estructuras. En todos los casos se acompaña cada punto de observación de una localización medición y la litología presente.

Construcción del mapa geológico del área de estudio

Las capas de información topográfica usadas incluyen un modelo de elevación del terreno, en formato ráster y diversas capas vectoriales de elementos geográficos, como una capa de curvas de nivel sobre las que posteriormente incorporaremos tanto una capa de ríos de León como de carreteras generales y edificaciones, cuya finalidad es una mejor referencia a la hora de presentar el mapa final.

Un paso importante en el uso de las herramientas digitales es la exportación de los datos de los dispositivos electrónicos a los archivos de QGIS. Se exportan tanto las líneas que marquen los contactos visibles (Fig. 7), como datos puntuales de las medidas de rumbo y buzamiento de las capas o diaclasas. Los datos se exportan primero a una hoja de cálculo, donde se complementan los datos con los nombres de las unidades y luego directamente se importan desde el QGIS. Las observaciones realizadas en el campo para la construcción del mapa geológico fueron complementadas con los datos del mapa geológico Magna de la hoja 104.

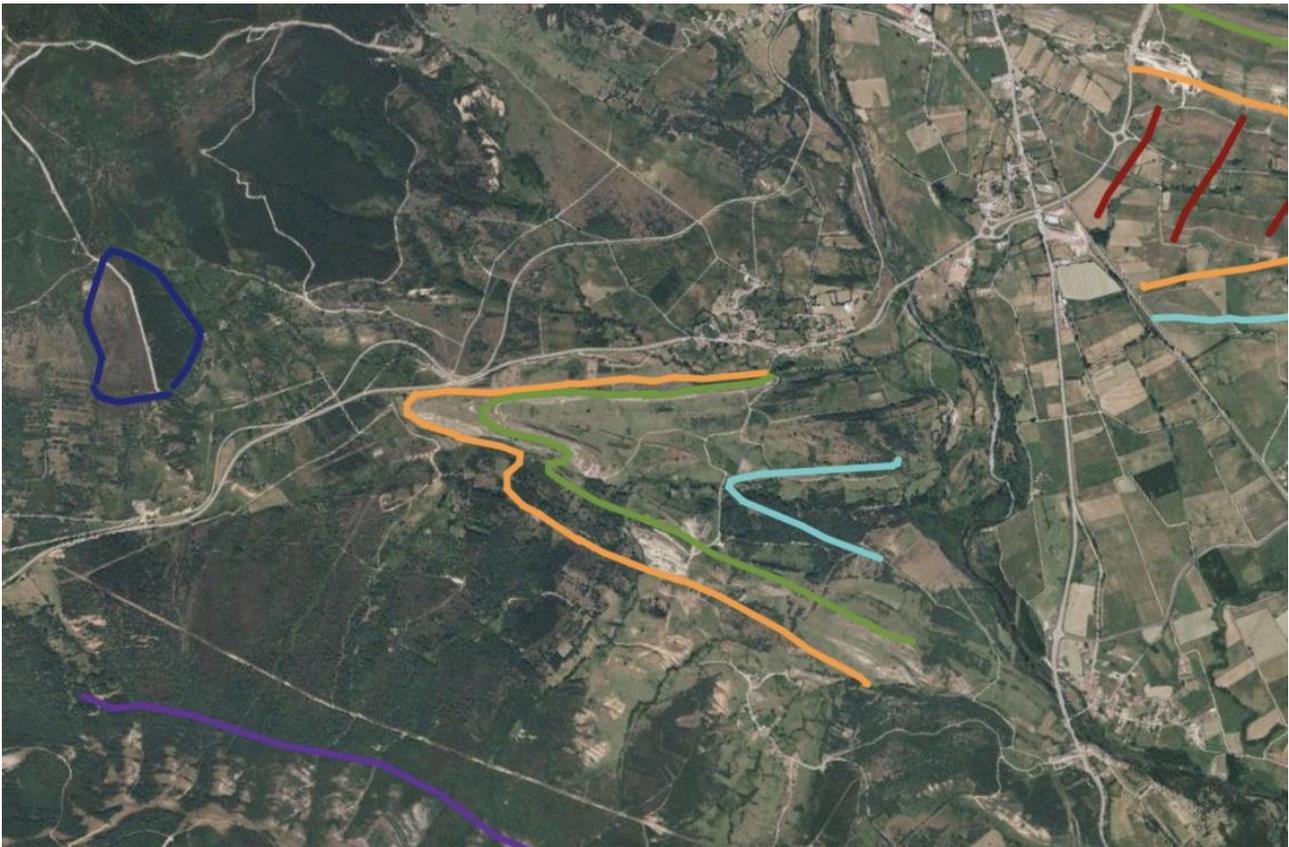


FIGURA 7. Contactos geológicos esbozados sobre las ortoimágenes del IGN.

| Tipo | Descripción |
|----------------------------------|---|
| Modelo de elevación del terreno. | PNOA_MDT05_ETR S89_HU30_0104_LI D.asc |
| Curvas de nivel | BTN0201L_CUR_NI V.shp |
| Rios | BTN0302L_RIO.shp |
| Edificaciones | BTN0507S_EDIFIC. shp |
| Carreteras | BTN0605L_CARRE TERA.shp |
| Ortofoto | PNOA_ANUAL_201 7_OF_ETRS89_HU 30_h50_0104.ecw |

TABLA I. Capas extraídas del Instituto Geográfico Nacional

Tratamiento de los datos estructurales

Los datos estructurales obtenidos en el campo se clasificaron por tipo de estructura, estratificación o diaclasa, y se representan en proyección estereográfica utilizando la aplicación Stereonet Cardozo y Allmendinger (2013). La obtención del eje de plegamiento en la zona de estudio se obtiene realizando un ajuste cilíndrico de la población de los polos de planos de estratificación. De este ajuste se obtienen tres valores propios, el tercero de los cuales se sitúa perpendicularmente al plano que contiene los polos de estratificación y que, por tanto, corresponde al eje del pliegue.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Aportaciones al mapa geológico

El objetivo del presente trabajo radicaba en obtener datos estructurales de las formaciones geológicas posteriores al Crétacico en una zona con una cartografía previa de calidad, no obstante, consecuencia del trabajo de campo se pueden aportar algunas precisiones menores sobre la cartografía existente, recientemente revisada Merino-Tomé et al. (2014). La primera de las aportaciones se refiere a la extensión de la Formación Voznuevo, perteneciente a la localización 1 de la figura 5, que en el Mapa de la hoja 104 se encontrarían cortados por las arcillas rojas y arenas volviendo a aparecer a la altura de Valdepiélagos, también el contacto entre las arcillas rojas y arenas con los conglomerados a la altura de La Vecilla de Curueño, el cual se encontraría más al Sur que en el mapa de la figura 10. La segunda aportación se realiza en el área del pliegue perteneciente a la zona 2 de la figura 5, donde se encuentra el pueblo de La Mata la Riba, se precisa la presencia de un único tramo de arenas y conglomerados en vez de dos como se muestra en el mapa previo. En el área más cercana a Boñar, es decir la localización 3 de la figura 5, los cambios más apreciables se refieren a la potencia de la capa de calizas margosas al Norte de Barrios de Olla y la extensión hacia el Este de la charnela de las arcillas rojas y arenas en las cercanías a Las Bodas, que es menor de la que aparece en el mapa previo.

Estructuras tectónicas

Los estratos pertenecientes a materiales cretácicos mantienen una orientación de estratificación principalmente Sur50°-55°Oeste, mientras que en los materiales cenozoicos es diferente siendo Sur20°Oeste. Es en los materiales cretácicos donde encontramos un mejor desarrollo de pliegues en el área 2 (Fig. 5). Mientras los materiales cenozoicos muestran un cambio importante de sus buzamientos desde más inclinados hacia el Norte, hacia el contacto de la falla con el paleozoico, que disminuye progresivamente hacia el Sur, hasta que se encuentran horizontales, fuera de la zona afectada por la deformación alpina.

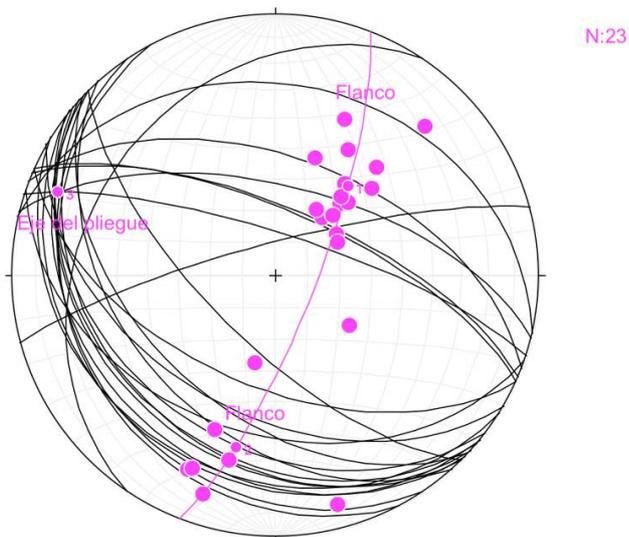


FIGURA 8. Proyecciones estereográficas global de la estratificación de las unidades estratigráficas. En rosa, los polos de los planos de estratificación. Los puntos numerados corresponden a los valores propios del ajuste cilíndrico de la población de polos. El tercer valor propio indica la posición del pliegue.

El desarrollo de las proyecciones estereográficas, como se explicó anteriormente en el subapartado de tratamiento de los datos nos permite determinar la posición del eje de los pliegues, en el caso donde trabajamos con las medidas de las capas; pudiendo sacar los valores del eje, teniendo una dirección de 291, 1° y un buzamiento de 12, 8°. También el desarrollo de unas proyecciones de las diaclasas medidas (Fig. 9). Donde se pueden observar las direcciones preferentes de estas, nos dan una información complementaria de gran valor corroborando el tipo de esfuerzos que generaron dichas estructuras. Siendo las diaclasas prácticamente perpendiculares al eje de los pliegues.

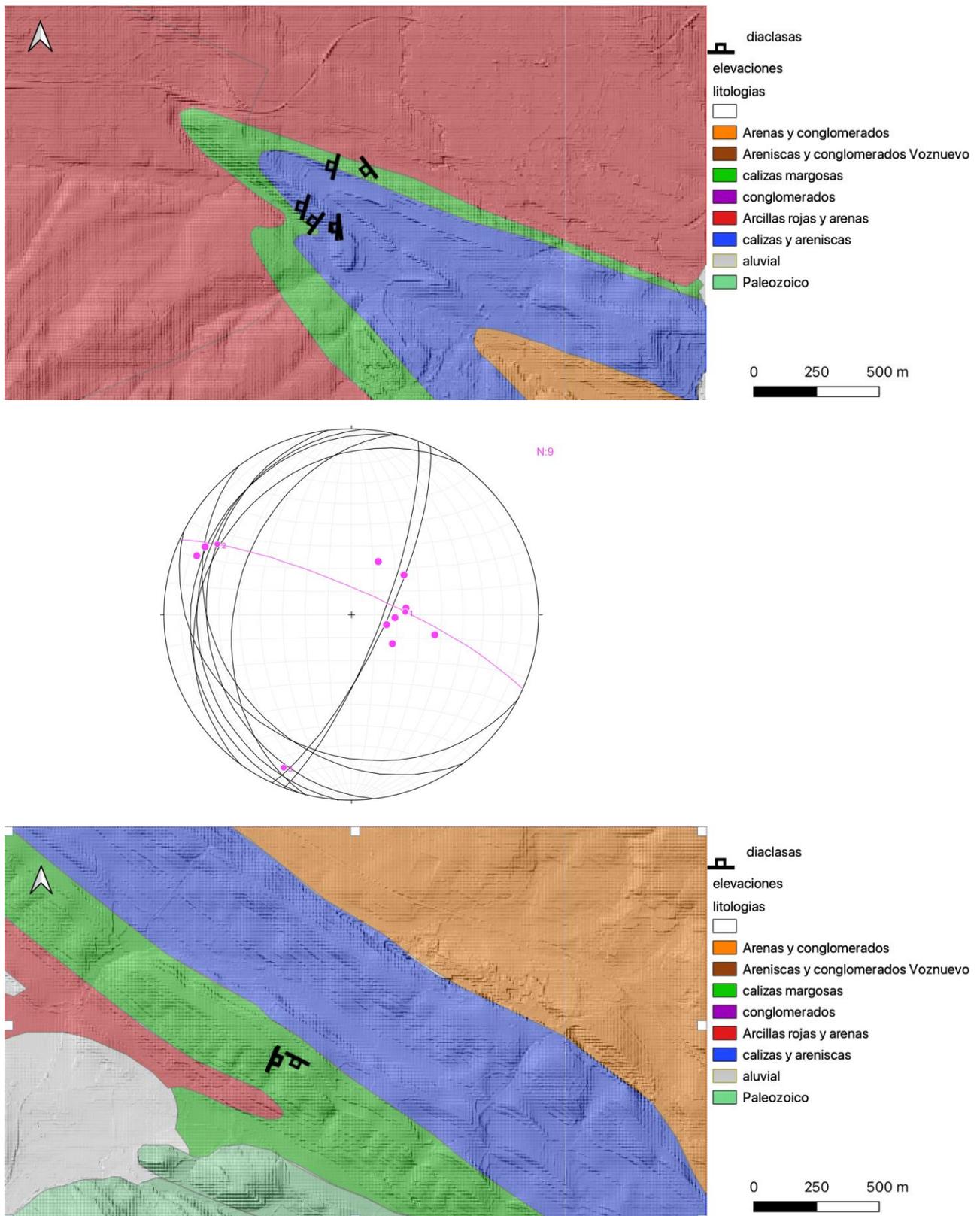


FIGURA 9. Proyecciones estereográficas de las diaclasas. Con la localización geográfica.

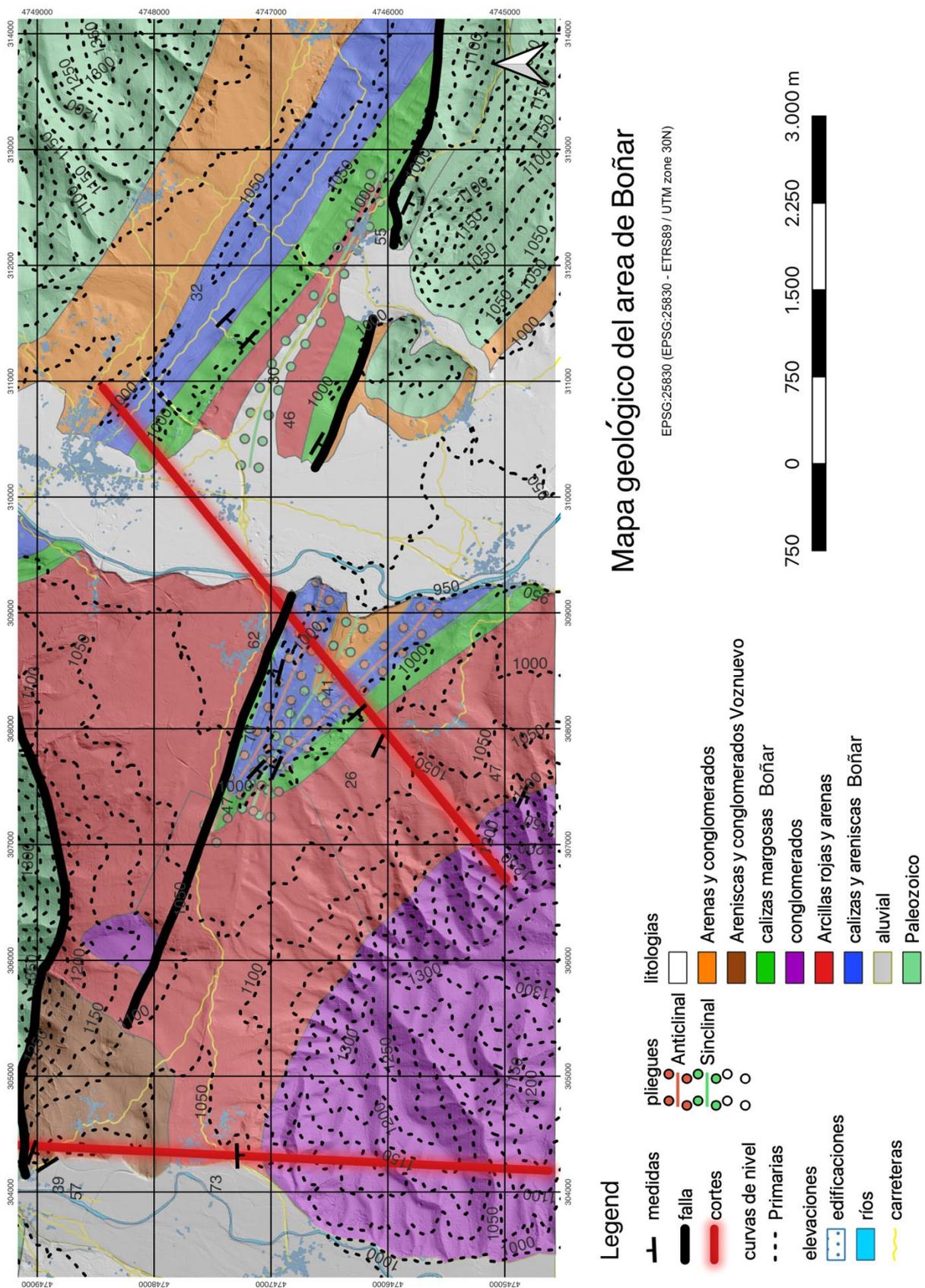


FIGURA 10. Mapa geológico del área de estudio en el que se han plasmado los cortes de la siguiente figura.

La estructura general del área de estudio se aprecia en los cortes de la figura 11. La dirección de los cortes es perpendicular a la estructura que reflejan los datos puntuales mostradas en las proyecciones estereográficas de la figura 8.

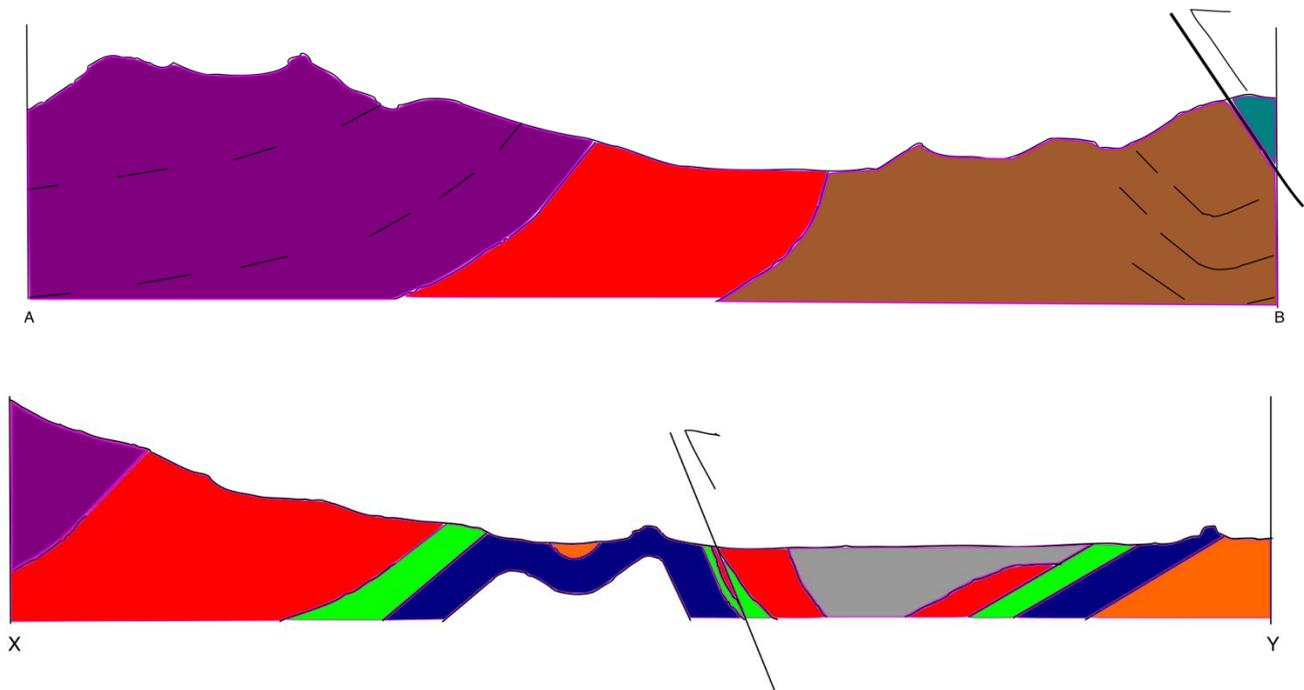


FIGURA 11. Cortes geológicos perpendiculares a las estructuras. Teniendo el corte A-B una orientación Sur-Norte y una escala 1:25000. Mientras que el corte X-Y tiene una orientación Suroeste-Noreste y una escala 1:25000.

En el corte A-B, el más largo del mapa, destaca el cambio en el buzamiento de la capa de conglomerados cenozoicos, según nos desplazamos hacia el Sur los buzamientos van desde 47° en la parte septentrional del corte hasta unos 13° en la parte meridional del corte Figura 11. En la parte Norte del mapa existe una falla inversa que actúa como contacto mecánico entre el basamento Paleozoico indiferenciado, con los materiales cretácicos de La Formación Voznuevo Evers (1967).

El segundo corte realizado, X-Y con una trayectoria Suroeste-Noreste, está cortado por una falla inversa, en el flanco sur de un pliegue sinclinal abierto. Es en los materiales cretácicos de este lado del corte en los que se han podido tomar algunas de las medidas de diaclasas con una disposición visible en la proyección estereográfica de la figura 9.

Al Suroeste de la falla se encuentran los materiales cretácicos, pertenecientes a la Formación Boñar Evers (1967), cuyo ángulo de buzamiento presenta las mayores inclinaciones en el flanco más cercano a la falla y en el flanco izquierdo del pliegue menor, en cuyo núcleo se hallan las facies de Utrillas a las que hemos dado un color naranja; suavizándose esta inclinación en los flancos opuestos llegando a tener inclinaciones de 25° - 40° .

En los cortes se aprecia el plegamiento acomodado por los materiales de La Formación Boñar Evers (1967). Los tres pliegues que se observan tienen una orientación Este-Oeste, además los planos axiales presentan una inclinación hacia el Suroeste.

Las estructuras tectónicas que indican fracturación como en el caso de las diaclasas han sido encontradas en su mayoría en la zona de los pliegues, más concretamente en el área de la charnela (Fig. 9). La mayoría de las medidas como se ha indicado anteriormente provienen del área de las charnelas en los materiales cretácicos; siendo en el caso del área 2 (Fig. 5). En esta zona veremos familias de diaclasas situados entre la charnela y el flanco Norte del pliegue menor, viendo diaclasas que cortan el pliegue con una dirección perpendicular al de las capas.

Las diaclasas encontradas en el área 3 (Fig. 5) mantendrían la misma estructura; siendo familias de diaclasas que cortan las capas cretácicas de una forma perpendicular a la estratificación de estas; y encontrándose en los alrededores de la charnela del pliegue, en este caso el flanco Norte también.

Análisis estructural

El estudio de las estructuras presentes en el área, y las que hemos intentado plasmar en los cortes, nos permite saber no solo conocer los tipos de esfuerzos encargados de producirla sino incluso acotarlo a eventos claves de deformación en la historia.

Los pliegues formados en materiales cretácicos, en este caso en la Formación Boñar Evers (1967), acotan los esfuerzos que actúan en la zona a esfuerzos compresivos producidos durante el Cretácico y en adelante. La proyección de todos los datos de buzamiento de las unidades visitadas permite obtener una dirección Oeste-Noroeste y correspondería con un acortamiento perpendicular a esta dirección siendo Norte-Noreste.

En el segundo corte, A-B, las estructuras compresivas afectan también a materiales más jóvenes, en los que según fuimos midiendo hemos visto un aumento en el ángulo de buzamiento hacia el Norte, pasando de un buzamiento casi nulo a llegar a buzamiento 40°-50°. Consecuencia de esta progresiva inclinación de la capa es el incremento del acortamiento en la horizontal. En la figura 12, donde se ha señalado en rojo la distancia que se ha acortado la formación por esta compresión. En esta figura se ha realizado un esquema simple de como se ha debido producir el acortamiento, el cual no sería mayor a unos centenares de metros.

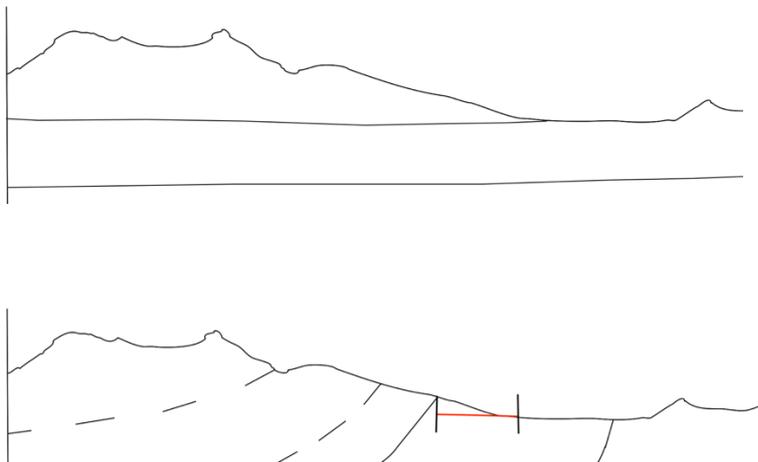


FIGURA 12. Aumento de la inclinación de la capa y acortamiento, marcado en rojo.

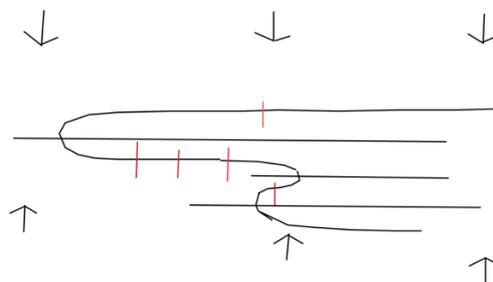


Figura 13. Esquema de las relaciones entre los pliegues y las diaclasas (en trazo rojo) en una situación de esfuerzos compresivos.

El estudio de ambas zonas, en las que se han realizado los cortes, nos ha permitido saber la historia tectónica reciente del área, es decir el tipo y orientación de los esfuerzos que han actuado. Siendo elementos primordiales para llegar a esta deducción el estudio de pliegues en materiales cretácicos, con sus consiguientes estructuras encontradas, diaclasas por ejemplo o la aparición de fallas, y los cambios en los buzamientos de capas más jóvenes. Centrándonos más en las diaclasas ya que son el elemento que hemos reconocido y medido (Fig. 9), se disponen preferentemente siguiendo una dirección Suroeste-Noreste dato que junto a la disposición de los pliegues (Fig. 13) nos ha llevado a deducir que estos elementos fueron producidos por esfuerzos compresivos de dirección Noreste-Suroeste. Esfuerzos que se han producido con certeza a partir del Cretácico Tardío, ya que afecta a materiales cretácicos los cuales deben de ser depositados antes, y más concretamente después del Cenomaniense. Por tanto, son estructuras alpinas ya que es durante el Cenozoico cuando el límite norte de Iberia constituye el límite entre Europa y África.

AGRADECIMIENTOS

Lo primero agradecerle a mi tutor la oportunidad que me dio de realizar un trabajo con el que sin duda eh ganado una gran experiencia en campo y uso de diversas aplicaciones. Además de guiarme y demostrar un gran compromiso, siempre ha tenido un trato cercano conmigo lo que sin duda ha mejorado la experiencia de realización del trabajo. También agradecer a mi familia en especial a mi madre y mi padre el apoyo que me han brindado y a mis amigos, sobre todo a Iván y David que me han acompañado y animado durante toda la formación; por último, a mi compañero Marcos Navarro el cual me ha brindado un ejemplo de trabajo, sabiduría y honestidad que cualquiera querría tener al lado.

BIBLIOGRAFÍA

- Allmendinger, R.W., Siron, C.R., Scott, C.P., (2017). Structural data collection with mobile devices: Accuracy, redundancy, and best practices, *Journal of Structural Geology* 102 (2017) 98e112
- Allmendinger, R.W., Cardozo, N., (2013). Spherical projections with OSX Stereonet, *Computers & Geosciences* 51 193–205.
- Alonso, J.L., Martínez Abad, I., & García-Ramos, J.C. (2007). Nota sobre la presencia de una sucesión cretácica en el Macizo de Las Ubiñas (Cordillera Cantábrica). Implicaciones tectónicas y geomorfológicas. *Geogaceta*, 43, 47-50.
- Alonso, J. L., Pulgar, J. A., García-Ramos, J. C. y Barba, P. (1996). Tertiary basins and Alpine tectonics in the Cantabrian Mountains (NW Spain). En: *Tertiary basins of Spain: Tectonics, Climate and Sea-Level Changes* (P. F. Friend y C. J. Dabrio, Eds.), *Cambridge University Press*, Cambridge: 214-227. ISBN: 0-521-46171-5
- Álvarez-Marrón, J., Rubio, E. y Torné, M. (1997). Subduction-related structures in the North Iberian Margin. *J. Geophys. Res.*, 102 (B10), 22497-22511.
- Evers, H.J. (1967). Geology of the Leonides between the Bernesga and Porma rivers, Cantabrian mountains, NW Spain. *Leidse Geologische Mededelingen*, 41 (1): 83–151.
- Gómez-Fernández, F.; Bahamonde Rionda, J.R. & Méndez Cecilia, A. (2003). La Formación Boñar (Cretácico Superior, Norte de León): estratigrafía, geoquímica y potencial productor de roca ornamental. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 16: 61–71.
- L. Lobato, J. L. García-Alcalde, L. Sanchez de Posada y J. Truyols. La cuenca Ciñera-Matallana según datos de la Sociedad Anónima Hullera Vasco-Leonesa (S.A.H.V.L.) adaptados por L.R. Rodríguez-Fernandez (1981). Mapa geológico de la Hoja no 104 (Boñar). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie (MAGNA), Primera edición. IGME. Depósito legal: M-43751-1984.
- Matte, Ph. (1991). Accretionary history and crustal evolution of the Variscan belt in Western Europe. *Tectonophysics*, 196, 309-337.
- Merino-Tomé, O., Suarez Rodriguez, A. y Alonso J. L. Mapa Geológico Digital continuo E. 1: 50.000, Zona Cantábrica (Zona-1000). in GEODE. Mapa Geológico Digital continuo de España. [22-1-2022]. Disponible en: <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/geodezona.aspx?Id=Z100>
- Pulgar, J. A., Alonso, J. L., Espina, R. G., & Marín, J. A. (1999). La deformación alpina en el basamento varisco de la Zona Cantábrica. *Trabajos de geología*, (21), 283-295.
- Teixell, A., Labaume, P., Ayarza, P., Espurt, N., de Saint Blanquat, M., & Lagabrielle, Y. (2018). Crustal structure and evolution of the Pyrenean-Cantabrian belt: A review and new interpretations from recent concepts and data. *Tectonophysics*, 724, 146-170
- Vergés, J., Millán, H., Roca, E., Muñoz, J. A., Marzo, M., Cirés, J., Den Bezemer, T., Zoetemeijer, R. y Cloeting, S. (1995). Eastern Pyrenees and related foreland basins: pre-, syn- and post-collisional crustal-scale cross-section. *Mar. Petrol. Geol.*, 12 (8), 893-915.

Vegas, R. y Banda, E. (1982). Tectonic framework and alpine evolution of the Iberian Peninsula. *Earth Evol. Sci.*, 4, 320-342.